我国白纹伊蚊对三种拟除虫菊酯类杀虫剂抗性检测诊断剂量的建立

高景鹏，陈翰明，马雅军*

（第二军医大学热带医学与公共卫生学系热带传染病学教研室，上海 200433）

摘要：【目的】建立中国白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 成蚊对溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯杀虫剂抗性检测的诊断剂量。【方法】应用溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯原药制作不同浓度的药膜滤纸，接触筒法测定白纹伊蚊实验室敏感品系成蚊对 3 种拟除虫菊酯类杀虫剂的敏感性，记录 1 h的击倒数和 24 h 的死亡数。应用 Excel 2007 和 SPSS20.0 进行数据统计处理，并制作杀虫剂的毒力回归线，计算各自的 LC_{50} 和 LC_{99} 值。以 2 倍 LC_{99} 值作为区分抗性和敏感种群的诊断剂量，制作药膜滤纸，接触筒法生物测定海口市白纹伊蚊现场种群成蚊对杀虫剂的抗药性。【结果】溴氰菊酯、高效氯氟氰菊酯和氯菊酯杀虫剂对白纹伊蚊实验室敏感品系成蚊的 LC_{50} 值分别为 0.00619%，0.01403% 和 0.05009%，LC_{99} 值分别为 0.05175%，0.11859%，和 0.53165%，相对应的诊断剂量分别为 0.1035%，0.2372% 和 1.0633%。应用上述溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯诊断剂量测定的海口市白纹伊蚊现场种群的死亡率分别为 22.58%，36.29% 和 40.83%，表明该种群对这 3 种菊酯类杀虫剂均已产生了抗性。【结论】本研究建立的白纹伊蚊对 3 种拟除虫菊酯类杀虫剂的诊断剂量可作为该蚊成蚊抗药性监测的参考。

关键词：白纹伊蚊；杀虫剂；拟除虫菊酯；接触筒法；诊断剂量；抗性检测

中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2018)01-0018-07

Establishment of diagnostic doses of three pyrethroid insecticides for detecting resistance in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in China

GAO Jing-Peng, CHEN Han-Ming, MA Ya-Jun* (Department of Tropical Infectious Diseases, Faculty of Tropical Medicine and Public Health, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China)

Abstract: 【Aim】To establish the diagnostic doses of deltamethrin, permethrin and lambda-cyhalothrin for detecting resistance in *Aedes albopictus* in China. 【Methods】Insecticide-impregnated papers were made with different concentrations of deltamethrin, permethrin and lambda-cyhalothrin. The susceptibilities of adults of *A. albopictus* laboratory strain were tested by the standard WHO tube bioassay, and the number of knockdowned individuals at 1 h post treatment and the number of dead individuals at 24 h post treatment were recorded. Log-probit regression, and the LC_{50} and LC_{99} values were calculated using Excel 2007 and SPSS20.0 software. The 2-fold LC_{99} value was used as the diagnostic dose to separate resistant individuals from susceptible individuals. The resistance of a field population of *A. albopictus* collected from Haikou city to the three pyrethroids was evaluated based on the diagnostic dose determined. 【Results】The LC_{50} values of deltamethrin, lambda-cyhalothrin and permethrin to adult *A. albopictus* (laboratory strain) were 0.00619%, 0.01403% and 0.05009%,

基金项目：国家自然科学基金项目(81371848)

作者简介：高景鹏，男，1989 年 4 月生，河南商丘人，硕士研究生，研究方向传染病媒介生物学，E-mail：hello_gaojingpeng@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：yajun_ma@163.com

收稿日期 Received：2017-06-21；接受日期 Accepted：2017-08-17

respectively, while the LC_{99} values were 0.05175%, 0.11859% and 0.53165%, respectively. Thus the corresponding diagnostic doses of the three pyrethroids were 0.1035%, 0.2372% and 1.0633%, respectively. Tested with the diagnostic doses of deltamethrin, permethrin and lambda-cyhalothrin, the mortalities of adults of the field population of Haikou were 22.58%, 36.29% and 40.83%, respectively, indicating that the Haikou population has developed resistance to all the three pyrethroid insecticides. 【Conclusion】The diagnostic doses of three pyrethroids established in this study for *A. albopictus* can be used as the reference for monitoring insecticide resistance of adults of this mosiquito.

Key words: *Aedes albopictus*; insecticide; pyrethroids; tube bioassay; diagnostic dose; resistance detection

白纹伊蚊 *Aedes albopictus*，又称“亚洲虎蚊”，隶属双翅目蚊科，起源于东南亚，目前已广泛分布于全球的热带、亚热带和温带地区。白纹伊蚊可以传播多种疾病，如登革热、登革出血热、基孔肯雅热和寨卡病毒病等（Waldock *et al*., 2013; 杨舒然和刘起勇, 2013; Li *et al*., 2014; Kraemer *et al*., 2015）。白纹伊蚊也是我国城市和农村的常见蚊种，北至辽宁省，南至海南省，西至西藏自治区，北纬 30°以南地区该蚊密度更高（杨舒然和刘起勇, 2013）。白纹伊蚊的广泛分布为其在全球范围内传播疾病提供了条件，WHO 估计全球约 25 亿人口受登革热威胁，每年超过 1 亿人感染登革病毒。近年来，我国的登革热疫情形势严峻（杜建伟和潘先海, 2010），尤其是 2014 年广东省大规模暴发流行登革热疫情，报告病例超过 45 000 例（Xiao *et al*., 2016）。

对于蚊媒病的防控，除了治疗病人，媒介控制是不可或缺的环节，应急条件下使用化学杀虫剂控制媒介仍是主要措施。拟除虫菊酯类（以下简称“菊酯类”）杀虫剂因具高效低毒的特点，从 20 世纪 80 年代到目前，均为应用广泛、用量最多的杀虫剂。在疫情暴发时，对于白纹伊蚊成蚊常采用空间喷洒大量的菊酯类杀虫剂进行控制（WHO, 1997, 2006）。目前，我国多地的白纹伊蚊种群对杀虫剂产生了不同程度的抗药性（孟凤霞等, 2015），对虫媒病防控提出了巨大的挑战，抗性监测对于指导当地科学合理地使用化学杀虫剂尤为重要。

目前，WHO 推荐的生物测定白纹伊蚊对杀虫剂的抗药性方法是以幼虫浸渍法为主（WHO, 2005），我国各地白纹伊蚊种群对菊酯类杀虫剂的敏感性报告均以此法测定（曾林海等, 2010; 陈明等, 2013; 孙养信等, 2013; 陈朱云等, 2014; 蔡蓉等, 2015; 黄慕嫦等, 2015; 寇景轩等, 2015; 王晓花等, 2015; 徐建敏等, 2016）。成蚊对杀虫剂的抗药性测定 WHO 推荐的方法主要是接触筒法（WHO, 2013），该方法需要杀虫剂诊断剂量的药膜方可进行。诊断剂量又称区分剂量，是杀死昆虫种群中所有敏感个体，而几乎不杀死该种群中表现型为抗性个体的杀虫剂剂量（沈晋良和吴益东, 1995），通常以 2 倍的 LC_{99}（或 $LC_{99.9}$）值作为诊断剂量（WHO, 2013），LC_{99}（或 $LC_{99.9}$）是由敏感基线计算得到的，是与死亡率 99%（或 99.9%）相对应的杀虫剂剂量值。目前 WHO 和我国均无推荐的白纹伊蚊成蚊对各种杀虫剂的诊断剂量参考值，少量有关我国白纹伊蚊成蚊对杀虫剂的抗药性测定依据的是 WHO 推荐的针对埃及伊蚊 *A. aegypti* 的诊断剂量（WHO, 2014; Xu *et al*., 2016）。本研究选取了 3 种常用的菊酯类杀虫剂，采用白纹伊蚊实验室敏感品系，建立诊断剂量，结果可为白纹伊蚊成蚊的抗药性监测提供基础参考数据。

1　材料与方法

1.1　供试蚊虫

白纹伊蚊实验室敏感品系于 2004 年引自江苏省寄生虫病防治研究所（其初始种群的野外采集地点和时间不详），连续 13 年饲养于第二军医大学蚊虫饲养室，期间未暴露于任何杀虫剂。饲养条件：温度 26±1℃，相对湿度 65%±5%，光周期 12L∶12D；幼虫喂食混合饲料（鼠饲料∶鱼饲料∶酵母粉 =6∶2∶2, m/m），化蛹后转移至蚊笼；成蚊给予 10% 的糖水喂食。选取羽化 3－5 d 的未吸血雌蚊作为试虫。

白纹伊蚊现场种群采自海南省海口市美兰区西坡村（20°3′28″N, 110°21′46″E）。于 2017 年 5 月舀取孳生地的幼虫，带回至蚊虫饲养室养殖至成蚊，养殖条件同上述，选取羽化 3－5 d 的未吸血 F_0 代雌蚊作为试虫。

1.2　供试杀虫剂

3 种菊酯类杀虫剂原药为溴氰菊酯（98.37%,

江苏扬农化工集团有限公司)、氯菊酯(96.20%,南通功成精细化工有限公司)和高效氯氟氰菊酯(95.85%,江苏扬农化工集团有限公司)。

1.3 药膜滤纸制作

将杀虫剂溶解于白油和乙醚按 1∶2(v/v)混合的溶剂中,配制成一定浓度。取 2.14 mL 的溶液均匀吸附在 16.0 cm×12.5 cm 的新华 1 号滤纸上,空白药膜用白油和乙醚的混合液制作,不含杀虫剂。药膜制作后室温下放置,待乙醚完全挥发即可使用(WHO, 2013)。

1.4 诊断剂量的建立

采用白纹伊蚊实验室敏感品系,依据 WHO 推荐的接触筒法进行杀虫剂的敏感性生物测定(WHO, 2013)。选取健康雌性成蚊 25~35 头放入干净的接触筒中,1 h 后将状态好的试虫转移至含有药膜的接触筒。接触 1 h 后,观察击倒情况后,将蚊虫移入恢复筒内,置于养蚊室,恢复筒上放置浸有 10% 的糖水脱脂棉,记录的数据包括 1 h 击倒数和 24 h 死亡数。成蚊击倒的判断标准为试虫翻背,腹部向上;死亡的判断标准为:试虫完全不动,或者只有震颤,不能爬动或飞行(WHO, 2013)。实验组设置至少 3 次重复,同时设空白对照。

每种杀虫剂设 5 个有效的浓度梯度记录数据,浓度梯度按照等比数列进行设置,其中溴氰菊酯和氯菊酯的组间浓度倍数为 5,高效氯氟氰菊酯的组间浓度倍数为 3。杀虫剂的浓度依据文献,以及多次预实验确定(WHO, 2014; Thanispong *et al*., 2015)。

1.5 白纹伊蚊现场种群的抗药性测定

根据本研究建立的杀虫剂诊断剂量制作药膜滤纸,应用接触筒法对海口的白纹伊蚊现场种群进行杀虫剂抗药性生物测定。按 WHO 更新的评价标准确定抗性级别(WHO, 2013):死亡率为 98% ~100%,是"敏感种群(S)";死亡率为 90% ~97.9%,是"可能抗性种群(M)",需要进一步验证;死亡率为 90% 以下,为"确定抗性种群(R)"。对于可能抗性种群,加测 2 次,如果测定结果类似,则可以确定其抗性。

海口现场的白纹伊蚊种群抗药性测定后,依据成虫的形态特征,结合分子特征进行鉴别(耿艺介等, 2008),确定种类。

1.6 数据统计

依据击倒数和死亡数计算击倒率和死亡率。若对照组的死亡率超过 20%,视测试失败;若对照组死亡率为 5% ~20% 时,根据 Abbott 公式(Abbott, 1987)进行校正,计算校正死亡率(下称死亡率)。校正死亡率(%)=(实验组死亡率 - 对照组死亡率)/(1 - 对照组死亡率)×100%。

应用 Excel 2007 和 SPSS20.0 进行数据统计,对不同杀虫剂的各浓度组间的击倒率和死亡率进行卡方检验。确定组间无差异后进行 log-probit 回归分析,计算各杀虫剂的 LC_{50}、LC_{99}、95% 置信区间(95% CI)、毒力回归线的斜率及其标准误、χ^2 值、自由度和 *P* 值。以 2 倍 LC_{99} 值作为区别抗性和敏感种群的诊断剂量。

2 结果

2.1 白纹伊蚊成蚊对 3 种杀虫剂的诊断剂量

制作溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯不同浓度的药膜滤纸,接触筒法对白纹伊蚊敏感品系进行测定后,计算的击倒率和死亡率进行卡方检验后汇总(表 1),得到溴氰菊酯、高效氯氟氰菊酯和氯菊酯杀虫剂对白纹伊蚊实验室敏感品系的 LC_{50} 值分别为 0.00619%, 0.01403% 和 0.05009%,LC_{99} 值分别为 0.05175%, 0.11859% 和 0.53165%,相对应的诊断剂量分别为 0.1035%, 0.2372% 和 1.0633%(表 2)。

2.2 白纹伊蚊现场种群对 3 种菊酯类杀虫剂的抗药性

应用本研究建立的白纹伊蚊对 3 种杀虫剂的诊断剂量,接触筒法测定海口市白纹伊蚊现场种群的抗药性,根据 WHO 对抗药性的评价标准,结果显示海口市西坡村白纹伊蚊种群对溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯杀虫剂均已产生抗性(表 3)。经形态和分子鉴定,抗药性测定的蚊虫种类均为白纹伊蚊。

3 讨论

敏感基线是敏感的昆虫种群对某种杀虫剂的毒力回归线(唐振华, 1993),具备了敏感基线,才能确定诊断剂量,准确地判断昆虫种群是否对杀虫剂已经产生了抗药性及抗药性的程度(张晓越, 2014)。众所周知,蚊虫对杀虫剂的敏感程度都是相对的,对其衡量也无绝对的标准。研究者对应用建立敏感基线的白纹伊蚊实验室品系随机选择了 50 头进行了击倒抗性基因的检测分析,在已报告的与菊酯类杀虫剂抗性表型相关的位点 1532 和 1534(Kasai *et al*.,

表 1　白纹伊蚊实验室敏感品系成蚊接触不同浓度菊酯类杀虫剂后的击倒率和死亡率

Table 1　Knockdown rate and mortality of adults of *Aedes albopictus* laboratory strain after exposure to serial concentrations of three pyrethroid insecticides

杀虫剂 Insecticides	浓度(%) Concentration	测试个体数量 Number of test individuals	击倒数 Number of knockdowned individuals	击倒率(%) Knockdown rate	死亡数 Number of dead individuals	死亡率(%) Mortality
溴氰菊酯 Deltamethrin	0.07500	126	126	100.00	126	100.00
	0.01500	108	108	100.00	91	84.26
	0.00300	122	0	0.00	22	18.03
	0.00060	109	0	0.00	2	1.83
	0.00012	122	0	0.00	0	0.00
氯菊酯 Permethrin	0.60000	91	91	100.00	91	100.00
	0.12000	102	22	21.57	83	81.37
	0.02400	94	1	1.06	17	18.09
	0.00480	100	0	0.00	3	3.00
	0.00096	77	0	0.00	0	0.00
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	0.12150	97	97	100.00	97	100.00
	0.04050	118	118	100.00	99	83.90
	0.01350	119	113	94.96	62	52.10
	0.00450	91	3	3.30	10	10.99
	0.00150	91	0	0.00	0	0.00

表 2　3 种菊酯类杀虫剂对白纹伊蚊实验室敏感品系成蚊的毒力

Table 2　Toxicity of three pyrethroid insecticides to adults of *Aedes albopictus* laboratory strain

杀虫剂 Insecticides	测试个体数量 Number of test individuals	LC_{50}(%) (95% CI)	LC_{99}(%) (95% CI)	斜率±标准误 Slope±*SE*	诊断剂量(%) Diagnostic dose	χ^2 (*df*)	*P* 值 *P* value
溴氰菊酯 Deltamethrin	587	0.00619 (0.00524－0.00733)	0.05175 (0.03682－0.08177)	2.52306±0.20809	0.1035	4.81793 (3)	0.18563
氯菊酯 Permethrin	464	0.05009 (0.03153－0.08021)	0.53165 (0.24973－2.54013)	2.26784±0.19329	1.0633	5.90987 (3)	0.11608
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	516	0.01403 (0.01216－0.01614)	0.11859 (0.08808－0.17537)	2.51016±0.19122	0.2372	3.76882 (3)	0.28753

CI：置信区间 Confidential interval.

表 3　海口市白纹伊蚊现场种群对 3 种菊酯类杀虫剂的抗药性

Table 3　Resistance of the field population of *Aedes albopictus* from Haikou City to three pyrethroid insecticides

杀虫剂 Insecticides	测试个体数量 Number of test individuals	击倒数 Number of knockdowned individuals	击倒率(%) Knockdown rate	死亡数 Number of dead individuals	死亡率(%) Mortality	抗性级别 Resistance level
溴氰菊酯 Deltamethrin	93	76	81.72	21	22.58	R
氯菊酯 Permethrin	124	79	63.71	45	36.29	R
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	169	169	100.00	69	40.83	R

R：抗性种群(死亡率为 90% 以下) Resistant population (mortality <90%)(WHO, 2013).

2011；王晓花等，2015；Xu *et al.*，2016），均未发现突变，为野生型纯合子（数据未发表）。上述白纹伊蚊实验室品系幼虫浸渍法测定结果显示，对溴氰菊酯和氯菊酯的 LC_{50} 分别为 0.0001 和 0.006 mg/L（王晓花等，2015）。与国内其他实验室敏感品系的白纹伊蚊相比，溴氰菊酯的 LC_{50} 值最低（0.0004 ~ 0.1200 mg/L），氯菊酯的 LC_{50} 值处于较低水平（0.002 ~ 0.052 mg/L）（蔡松武等，2004；李成玲等，2010；陈明等，2013；孙养信等，2013；寇景轩等，2015；姚毅克等，2015；黄慕嫦等，2016）。上述数据证明，本研究采用的白纹伊蚊实验室品系对菊酯类杀虫剂为相对敏感的种群。

目前有关白纹伊蚊成蚊对菊酯类杀虫剂诊断剂量的研究仅有泰国的数据（Thanispong *et al.*，2015），本研究建立我国卫生杀虫剂市场上最常见的溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氟氰菊酯 3 种杀虫剂的诊断剂量（王以燕和姜志宽，2016），这是蚊虫抗药性研究中最基础的工作，因为抗性监测都必须首先建立敏感毒力基线，作为参照的标准（姚其方和李贵生，1994）。研究者在大量的预实验阶段，杀虫剂浓度梯度设置主要参考了 WHO（WHO，2014）对埃及伊蚊和泰国白纹伊蚊的相关诊断剂量（Thanispong *et al.*，2015）。WHO 推荐的埃及伊蚊对氯菊酯和高效氯氟氰菊酯的诊断剂量分别为 0.25% 和 0.03%（WHO，2014）；泰国的白纹伊蚊对溴氰菊酯和氯菊酯的诊断剂量分别为 0.02620% 和 1.02378%。与本研究结果相比，氯菊酯与 Thanispong 的结果相近（1.0633%），另外 2 种杀虫剂的诊断剂量均较高，分析原因，其一、诊断剂量高于埃及伊蚊，是因蚊种不同，敏感基线水平存在内在差异（Cordeiro *et al.*，2014）；其二、溴氰菊酯的诊断剂量（0.1035%）高于泰国（0.02620%），可能是因我国自 20 世纪 80 年代中期即开始使用菊酯类杀虫剂，溴氰菊酯是较早和使用较多的用于蚊虫防控的类别（韩熹莱，1993），推测所用的白纹伊蚊实验室品系在被驯化前已暴露于环境中溴氰菊酯的选择压力之下。

应用本研究建立的白纹伊蚊成蚊对 3 种菊酯类杀虫剂诊断剂量，接触筒法对海口市西坡村白纹伊蚊种群的抗药性水平进行测定，结果显示均产生了抗药性，结合本课题组关于海口市其他地区白纹伊蚊种群对溴氰菊酯、氯菊酯和高效氯氰菊酯生物测定的结果（王晓花等，2015；Chen *et al.*，2016），提示海口市白纹伊蚊种群对多种菊酯类杀虫剂已产生了广泛的抗药性。关于中国白纹伊蚊成蚊对不同菊酯类杀虫剂的诊断剂量，有研究显示均高于本研究结果（靳建超，2011），应用其检测的白纹伊蚊现场种群的结果均为敏感（Chen *et al.*，2016；侯娟等，2017）。因此，本研究结果若作为推荐的诊断剂量应用于白纹伊蚊成蚊的抗药性监测，尚需进一步积累现场种群的数据确定。

参考文献（References）

Abbott WS, 1987. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 3(2): 302 – 303.

Cai R, Shao ZX, Chen Y, Fan G, 2015. Insecticide resistance of *Culex tritaeniorhynchus* and *Aedes albopictus* in Huai'an city. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip.*, 21(1): 23 – 25. [蔡蓉，邵宗贤，陈跃，范刚，2015. 淮安市三带喙库蚊和白纹伊蚊对常用杀虫剂的抗药性测定. 中华卫生杀虫药械，21(1): 23 – 25]

Cai SW, Duan JH, Lu WC, Yi JR, Yin WX, Zhang XC, Lin LF, 2004. Present resistance situation of *Aedes albopictus* and countermeasures in Guangzhou city. *South China J. Prev. Med.*, 30(4): 40 – 41. [蔡松武，段金花，卢文成，易建荣，阴伟雄，张贤昌，林立丰，2004. 广州市城区白纹伊蚊抗药性现状与预防对策探讨. 华南预防医学，30(4): 40 – 41]

Chen HY, Li KL, Wang XH, Yang XY, Lin Y, Cai F, Zhong WB, Lin CY, Lin ZL, Ma YJ, 2016. First identification of *kdr* allele F1534S in VGSC gene and its association with resistance to pyrethroid insecticides in *Aedes albopictus* populations from Haikou City, Hainan Island, China. *Infect. Dis. Poverty*, 5: 31.

Chen M, Dong FQ, Wu YP, Zhu GR, Feng XY, 2013. Resistance of *Aedes albopictus* in Yiwu city to five different insecticides. *Shanghai J. Prev. Med.*, 25(8): 466 – 467. [陈明，董风强，吴因平，朱桂仁，冯霞燕，2013. 义乌市白纹伊蚊对 5 种杀虫剂的抗性调查. 上海预防医学，25(8): 466 – 467]

Chen ZY, Xie HG, Ouyang R, Lin YY, Zhang SY, 2014. Study on resistance of *Aedes albopictus* to common insecticide in Fuzhou. *Strait J. Prev. Med.*, 20(5): 9 – 10. [陈朱云，谢汉国，欧阳榕，林耀莹，张山鹰，2014. 福州地区白纹伊蚊对常用杀虫剂抗药性研究. 海峡预防医学杂志，20(5): 9 – 10]

Cordeiro EM, Correa AS, Guedes RN, 2014. Insecticide-mediated shift in ecological dominance between two competing species of grain beetles. *PLoS ONE*, 9(6): e100990.

Du JW, Pan XH, 2010. Prevalent status and features of dengue fever in China. *Chin. J. Epidemiol.*, 31(12): 1429 – 1433. [杜建伟，潘先海，2010. 中国登革热流行概况与流行特征. 中华流行病学杂志，31(12): 1429 – 1433]

Geng YJ, Gao ST, Huang DN, Yu L, Zhang RL, 2008. Identification on the three kinds of mosquitoes using diagnostic rDNA-ITS2 sequence. *J. Pathog. Biol.*, 3(8): 605 – 609. [耿艺介，高世同，黄达娜，庾蕾，张仁利，2008. 应用 rDNA-ITS2 诊断性序列现场对 3 种重要蚊媒的鉴定. 中国病原生物学杂志，3(8): 605 – 609]

Han XL, 1993. Encyclopaedia of Agriculture in China: Pesticides. China Agriculture Press, Beijing. 239. [韩熹莱, 1993. 中国农业百科全书：农药卷. 北京：中国农业出版社. 239]

Hou J, Meng FX, Wu YY, Wang JN, Guo S, Gong ZY, 2017. Resistance of adult *Aedes albopictus* to commonly used insecticides in Zhejiang province. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 28(3): 230 – 232. [侯娟, 孟凤霞, 吴瑜燕, 王金娜, 郭颂, 龚震宇, 2017. 浙江省白纹伊蚊成蚊抗药性研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 28(3): 230 – 232]

Huang MC, Liu YH, Qu BW, Chen MY, Liang JH, Zhu YP, Feng QW, Huang YZ, 2016. Resistance of *Aedes albopictus* to five commonly used insecticides in Jiangmen City. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip.*, 22(2): 142 – 144. [黄慕嫦, 刘鹰航, 区博文, 陈茂余, 梁均和, 朱宇平, 冯绮雯, 黄悦志, 2016. 江门市白纹伊蚊对5种杀虫剂的抗性监测与抗性治理对策. 中华卫生杀虫药械, 22(2): 142 – 144]

Huang MC, Qu BW, Yin BK, Zhong RM, Duan JH, 2015. Resistance monitor of *Aedes albopictus* to deltamethrin in Jiangmen city. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip.*, 21(2): 138 – 139, 142. [黄慕嫦, 区博文, 尹本康, 钟瑞美, 段金花, 2015. 江门市白纹伊蚊对溴氰菊酯的抗性监测. 中华卫生杀虫药械, 21(2): 138 – 139, 142]

Jin JC, 2011. Insecticide Resistance of Different Populations of Dengue Fever Mosquitoes in China and Population of *Culex tritaeniorhynchus* in Dandong. MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [靳建超, 2011. 我国不同地理种群登革热媒介伊蚊和丹东三带喙库蚊对杀虫剂的抗药性. 南京：南京农业大学硕士学位论文]

Kasai S, Ng LC, Lam-Phua SG, Tang CS, Itokawa K, Komagata O, Kobayashi M, Tomita T, 2011. First detection of a putative knockdown resistance gene in major mosquito vector, *Aedes albopictus*. *Jpn. J. Infect. Dis.*, 64(3): 217 – 221.

Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Elyazar IR, Teng HJ, Brady OJ, Messina JP, Pigott DM, Scott TW, Smith DL, Wint GR, Golding N, Hay SI, 2015. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife*, 4: e08347.

Kou JX, Liu HM, Gong MQ, Wang HW, 2015. Preliminary investigation of *Aedes albopictus* to commonly used insecticides in Shandong province. *Parasit. Infect. Dis.*, 13(3): 115 – 117. [寇景轩, 刘宏美, 公茂庆, 王怀位, 2015. 山东省白纹伊蚊对常用化学杀虫剂的抗性调查. 寄生虫病与感染性疾病, 13(3): 115 – 117]

Li CL, Hu ZG, Jiang YM, Wu HR, Luo XL, Yan ZJ, 2010. Preliminary investigation of *Aedes albopictus* resistant to commonly used insecticides in Guangzhou. *J. Trop. Med.*, 10(4): 429 – 430, 447. [李成玲, 胡志刚, 江毅民, 伍浩荣, 罗小蕾, 严子锵, 2010. 广州地区白纹伊蚊对常用杀虫剂抗药性的初步研究. 热带医学杂志, 10(4): 429 – 430, 447]

Li Y, Kamara F, Zhou G, Puthiyakunnon S, Li C, Liu Y, Zhou Y, Yao L, Yan G, Chen XG, 2014. Urbanization increases *Aedes albopictus* larval habitats and accelerates mosquito development and survivorship. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 8(11): e3301.

Meng FX, Wang YG, Feng L, Liu QY, 2015. Review on dengue prevention and control and integrated mosquito management in China. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 26(1): 4 – 10. [孟凤霞, 王义冠, 冯磊, 刘起勇, 2015. 我国登革热疫情防控与媒介伊蚊的综合治理. 中国媒介生物学及控制杂志, 26(1): 4 – 10]

Shen JL, Wu YD, 1995. Insecticide Resistance of Cotton Bollworm and Its Control. China Agriculture Press, Beijing. 114. [沈晋良, 吴益东, 1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京：中国农业出版社. 114]

Sun YX, Lv W, Huo LX, Zhou YJ, Wang B, 2013. Insecticide resistance of *Aedes albopictus* in Shanxi province, China and its control strategy. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 24(1): 47 – 49. [孙养信, 吕文, 霍丽霞, 周以军, 王博, 2013. 陕西省白纹伊蚊抗药性研究和防制策略. 中国媒介生物学及控制杂志, 24(1): 47 – 49]

Tang ZH, 1993. Insect Resistance and Management. China Agriculture Press, Beijing. 97 – 98. [唐振华, 1993. 昆虫抗药性及其治理. 北京：农业出版社. 97 – 98]

Thanispong K, Sathantriphop S, Malaithong N, Bangs MJ, Chareonviriyaphap T, 2015. Establishment of diagnostic doses of five pyrethroids for monitoring physiological resistance in *Aedes albopictus* in Thailand. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 31(4): 346 – 352.

Waldock J, Chandra NL, Lelieveld J, Proestos Y, Michael E, Christophides G, Parham PE, 2013. The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology. *Pathog. Glob. Health*, 107(5): 224 – 241.

Wang XH, Chen HY, Yang XY, Lin Y, Cai F, Zhong WB, Lin CY, Zhao W, Ma YJ, 2015. Resistance to pyrethroid insecticides and analysis of knockdown resistance (*kdr*) gene mutations in *Aedes albopictus* from Haikou City. *Acad. J. Second Milit. Med. Univ.*, 36(8): 832 – 838. [王晓花, 陈辉莹, 杨新艳, 林怡, 蔡芳, 钟汶兵, 林春燕, 赵伟, 马雅军, 2015. 海口市白纹伊蚊对菊酯类杀虫剂的抗药性及击倒抗性基因突变分析. 第二军医大学学报, 36(8): 832 – 838]

Wang YY, Jiang ZK, 2016. Development and application of public health pesticides in China. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 27(5): 421 – 425. [王以燕, 姜志宽, 2016. 我国公共卫生用农药的发展及应用概况. 中国媒介生物学及控制杂志, 27(5): 421 – 425]

WHO, 1997. Dengue Hemorrhagic Fever: Diagnosis, Treatment, Prevention and Control. World Health Organization, Geneva.

WHO, 2005. Guidelines for Laboratory and Field Testing of Mosquito Larvicides. World Health Organization, Geneva.

WHO, 2006. Pesticides and Their Applications for the Control of Vectors and Pests of Public Health Importance. World Health Organization, Geneva.

WHO, 2013. Test Procedures for Insecticide Resistance Monitoring in Malaria Vector Mosquitoes. World Health Organization, Geneva.

WHO, 2014. Discriminating Concentrations of Insecticides for Adult Mosquitoes. World Health Organization, Geneva. Available at:

http: // www. who. int/whopes/resistance/en/Diagnostic _ concentrations_May_2014. pdf? ua = 1.

Xiao JP, He JF, Deng AP, Lin HL, Song T, Peng ZQ, Wu XC, Liu T, Li ZH, Rutherford S, Zeng WL, Li X, Ma WJ, Zhang YH, 2016. Characterizing a large outbreak of dengue fever in Guangdong Province, *China Infect. Dis. Poverty*, 5: 44.

Xu J, Bonizzoni M, Zhong D, Zhou G, Cai S, Li Y, Wang X, Lo E, Lee R, Sheen R, Duan J, Yan G, Chen XG, 2016. Multi-country survey revealed prevalent and novel F1534S mutation in voltage-gated sodium channel (VGSC) gene in *Aedes albopictus*. *PLoS Negl. Trop. Dis*., 10(5): e0004696.

Xu JM, Li CL, Liang XY, Yan ZJ, Jiang YM, Wu J, Duan JH, Hu ZG, 2016. The resistance of *Aedes albopictus* larvae to 5 insecticides in Guangzhou. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip*., 22(2): 127 – 129. [徐建敏, 李成玲, 梁雪莹, 严子锵, 江毅民, 吴军, 段金花, 胡志刚, 2016. 广州市白纹伊蚊幼虫对5种杀虫剂的抗药性调查. 中华卫生杀虫药械, 22(2): 127 – 129]

Yang SR, Liu QY, 2013. Trend in global distribution and spread of *Aedes albopictus*. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 24(1): 1 – 4. [杨舒然, 刘起勇, 2013. 白纹伊蚊的全球分布及扩散趋势. 中国媒介生物学及控制杂志, 24(1): 1 – 4]

Yao QF, Li GS, 1994. Preliminary study on esterase isozyme of *Aedes albopictus* resistant to deltamethrin. *Chin. J. Parasit. Dis. Control*, 7(2): 157. [姚其方, 李贵生, 1994. 白纹伊蚊抗溴氰菊酯品系酯酶同工酶研究初报. 中国寄生虫病防治杂志, 7(2): 157]

Yao YK, Wang S, Chen RL, Luo ZH, Zhang CD, Luo LL, 2015. An investigation on insecticides resistance of *Aedes albopictus* in Zhuhai city. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip*., 21(1): 40 – 41. [姚毅克, 王松, 陈瑞利, 罗志华, 张楚东, 罗蕾蕾, 2015. 珠海市白纹伊蚊抗药性调查. 中华卫生杀虫药械, 21(1): 40 – 41]

Zeng LH, Sun DW, Zhao W, Li SG, Yang X, 2010. Determination of the susceptibility of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* to commonly used insecticides in Hainan province. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 21(2): 148 – 149. [曾林海, 孙定炜, 赵伟, 李善干, 杨霞, 2010. 海南省埃及伊蚊和白纹伊蚊对常用杀虫剂的敏感性测定. 中国媒介生物学及控制杂志, 21(2): 148 – 149]

Zhang XY, 2014. Study on Space-time Distribution of *Culex pipens pallens/quinquefasciatus* Resistance to Common-used Insecticides in China. MSc Thesis, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing. [张晓越, 2014. 我国淡色库蚊/致倦库蚊对常用杀虫剂抗性时空分布的研究. 北京: 中国疾病预防控制中心硕士学位论文]

(责任编辑: 赵利辉)